ISSIQBARDOSH NIKEL QOTISHMALARINING STRUKTURAVIY BARQARORLIGINI ANIQLASH USULLARINI TAQQOSLASH

Kadirov Oman Xamidovich
Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, dotsent
Tyagunov Andrey Gennadyevich
Ural federal universiteti, professor
Tarasov Dmitriy Aleksandrovich
Ural federal universiteti, dotsent
E-mail:om_kad@mail.ru

Annotatsiya. Strukturaviy barqarorlik issiqbardosh nikel qotishmalarining eng muhim xususiyatlaridan biridir. Bu xususiyatning klassik indikatori asosiy puxtalovchi fazaning to'liq erish harorati hisoblanadi.Ushbu qotishmalarni ko'p yillik takomillashtirish legirlashni optimallashtirish orqali amalga oshirildi, bu esa nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligini sezilarli darajada yaxshiladi, ammo mustahkamlovchi fazaning to'liq erish haroratining mutanosib o'zgarishiga olib kelmadi. Nikel asosidagi qotishmalarning strukturaviy barqarorligini baholashning yana bir usuli bu qotishmalarning uzoq muddatli mustahkamlik chegarasining o'zgarishi bilan hisoblanadigan strukturaviy barqarorlik parametri hisoblanadi. Maqola ushbu usullarni taqqoslashga bag'ishlangan.

Kalit so'zlar: Strukturaviy barqarorlik; issiqbardosh nikel qotishmalari; to'liq erish harorati; strukturaviy barqarorlik parametri.

Аннотация: Структурная стабильность – одно из важнейших свойств жаропрочных никелевых сплавов. Классическим индикатором этого свойства является температура полного растворения основной упрочняющей фазы. Многолетнее совершенствование этих сплавов велось путем оптимизации легирования, что существенно улучшило структурную стабильность никелевых сплавов, но не привело к пропорциональному изменению температуры полного растворения упрочняющей фазы. Другим методом оценки структурной стабильности сплавов на основе никеля является параметр структурной стабильности, вычисляемый по изменению предела длительной прочности этих сплавов. Статья посвящена сравнению этих методов.

Ключевые слова: Структурная стабильность; жаропрочные никелевые сплавы; температура полного растворения; параметр структурной стабильности.

Annotation: A comparison of methods for determining structural stability for a wide range of domestic and foreign foundry heat-resistant nickel alloys of five grades is made. The methods have excellent convergence for the alloys of the first generation,

ISSN 3030-3907

but they differ significantly for the alloys of the next generations, where the application of the new method is more adequate.

Keywords: Structural stability; heat-resistant nickel alloys; complete dissolution temperature; structural stability parameter.

Kirish

Hozirgi vaqtda gaz turbinali dvigatellar (GTD) aviatsiya, energetika va boshqa sohalarda keng qo‘llanilmoqda. Doimo ularning samaradorligini oshirish maqsadi turadi. Ushbu maqsadga erishish uchun energiya samaradorligi, resurslarni tejash talablariga javob beradigan, resurslarni qayta ishlash va ikkilamchi foydalanish imkoniyatlariga ega bo‘lgan yangi materiallar va texnologiyalarni ishlab chiqish talab etiladi.

Nikel asosidagi ko‘p komponentli issiqbardosh qotishmalar (INQ) gaz turbinali dvigatellar va energetik qurilmalarning eng muhim qismlarini tayyorlashda qo‘llaniladi. Bunday metall mahsulotlar ekspluatatsiyasining asosiy xususiyati yuqori harorat, agressiv muhit va cho‘zuvchi kuchlanishlardir. Shu munosabat bilan, qotishmalarga mustahkamlik xususiyatlari majmuasiga ham, strukturaning fazaviy barqarorligiga ham kengaytirilgan talablar qo‘yiladi.

Mahsulot ishlab chiqarish jarayonida olingan strukturaviy tarkibiy qismlarning ideal morfologiyasi talab qilinadigan xususiyatlar majmuasini yaratadi, ammo ekspluatatsiya sharoitlari tufayli yuzaga keladigan termodinamik jarayonlar va alohida strukturaviy tarkibiy qismlarning nomuvozanati mahsulotlarning mustahkamligini pasaytiradigan struktura degradatsiyasi jarayonlarini keltirib chiqaradi. INQ tuzilishining fazaviy barqarorligi metall mahsulotining ishlash muddatini belgilaydi. Bu xususiyat ekspluatatsiya sharoitida harorat-vaqt va mexanik yuklamalar ta’sirida strukturaning o‘zgarmasligini tavsiflaydi. Ko‘pincha strukturaviy barqarorlik sifat va miqdoriy metallografiya usullari bilan tavsiflanadi. Tadqiqotlar uzoq muddatli izotermik ushlab turishlarga duchor bo‘lgan namunalar bo‘yicha olib boriladi. Fazaviy tarkibning morfologik o‘zgarishlari, strukturaviy tarkibiy qismlarning miqdoriy ko‘rsatkichlarini mexanik sinovlar natijalari bilan taqqoslash asosida INQning fazaviy barqarorligi haqida fikr yuritiladi.

Issiqbardosh nikel qotishmalarining tuzilishi geterofazali: γ-nikel matritsasi, MC tipidagi evtektik va poliedrik karbidlar, γ- γ’-evtektika va qizdirilganda to‘liq erish harorati (t_{pr}) INQ fazaviy barqarorligining yagona raqamli parametri bo‘lgan asosiy mustahkamlovchi γ’-faza [1]. [2]ning mualliflari INQning tuzilmaviy barqarorligini γ’-fazaning parametrlari bilan bog‘lashadi: uning erish boshlanishi va tugash haroratlari, shuningdek, ushbu fazani hosil qiluvchi legirlovchi elementlarning umumiy miqdori bilan. Nikel asosidagi qotishmalarning yangi markalarini loyihalashda kelajakdagi strukturaviy barqarorlik darajasini bashorat

ISSN 3030-3907

qiluvchi maxsus matematik modellar qo‘llaniladi, ammo bu xususiyat raqamli ifodaga ega emas [2]. Uzoq muddatli mustahkamlik chegarasining pasayishi quyidagi strukturaviy o‘zgarishlar bilan birga keladi: y-nikel matritsasida raft-struktura va dislokatsiyalar paydo bo‘ladi; y’-ikkilamchi fazaning qo‘shilgan zarrachalaridan bloklar hosil bo‘ladi; matritsa va asosiy mustahkamlovchi intermetallid faza o‘rtasidagi aloqa zaiflashadi. Saqlash harorati ortishi bilan γ’ faza miqdori kamayadi. Evtektik ajralmalar o‘lchamlari kichrayadi va kichik o‘lchamli yumaloq zarrachalar koloniyalari bilan almashinadi. Shrift morfologiyasidagi MS tipidagi evtektik kelib chiqishli karbidlar yumaloq zarrachalar koloniyasiga parchalanadi va matritsada ham eriydi. MS ning globulyar karbidlari ancha barqaror, ammo ularning chegaralari bo‘ylab saqlash vaqtining oshishi bilan karbid reaksiyalari sodir bo‘ladi, natijada topologik zich joylashgan fazalarga (TZJ) tegishli ikkita yangi karbid M_6S va $M_{23}S_6$ hosil bo‘ladi [1-6]. Shu bois INQning strukturaviy barqarorligi kompleksdagi butun strukturaning xatti-harakatiga bog‘liq.

Struktura barqarorligini oshirishning eng samarali usullaridan biri OMSni reniy va ruteniy bilan legirlash bo‘lib, ular struktura degradatsiyasining diffuzion jarayonlarini sezilarli darajada kamaytiradi. Bunda tpr ortadi, lekin nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligi yaxshilanishiga proporsional bo‘lmaydi.

Ilgari [7,8] bir qator mahalliy va xorijiy issiqbardosh nikel qotishmalarining kimyoviy tarkiblarini ularning issiqbardoshlik sinovlari natijalari bilan bog‘liqligi haqidagi ma’lumotlarni statistik qayta ishlash natijasida ularning fazaviy barqarorligi *PS* (Phase Stability) parametri bo‘yicha issiqbardosh nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligini sonli aniqlash usuli taklif etilgan. Buning uchun tayyorlangan ma’lumotlar bazasiga issiqqa chidamli nikel qotishmalarining suyuqlanish tarkiblari, shuningdek, mexanik sinovlar natijasida olingan ularga mos keladigan uzoq muddatli mustahkamlik chegarasi qiymatlari kiritilgan. Uzilish sinovlaridan oldin ekspluatatsiya sharoitlariga mos keladigan uzoq muddatli izotermik saqlashlar bo‘lganligi sababli, har bir saqlashning harorati va vaqti ham bazaga kiritilgan.

Ushbu ishning maqsadi - issiqbardosh nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligini aniqlash usullarini taqqoslashdan iborat: klassik - asosiy mustahkamlovchi fazaning to‘liq erish harorati bo‘yicha va yangi - strukturaviy barqarorlik parametri bo‘yicha.

TADQIQOT O‘TKAZISH METODIKASI

Strukturaviy barqarorlik parametrini hisoblash uchun mahalliy va xorijiy issiqbardosh nikel qotishmalarining 300 ga yaqin markalarining kimyoviy tarkibi va uzoq muddatli mustahkamlik chegarasi qiymatlari to‘g‘risidagi ma’lumotlarni o‘z ichiga olgan ma’lumotlar bazasidan foydalanildi. Hisoblash Matlab amaliy dasturiy

ISSN 3030-3907

paketida ma’lumotlarni qayta ishlash orqali amalga oshirildi. Uzoq muddatli mustahkamlik chegarasining qiymatlari standart uzilish sinovlari natijasida aniqlanadi, bunda dastlab metall foydalanish sharoitlariga mos keladigan 500°C dan 1200°C gacha bo‘lgan haroratlarda uzoq vaqt, 50 dan 10000 soatgacha, izotermik ushlab turishlarga uchraydi [9]. Sinov natijalarini taqqoslash va qayta ishlash qulayligi uchun izotermik ushlab turish harorati va vaqti Larson-Miller parametri (P_{LM}) (1) bilan bog‘lanadi [10]:

$$P_{LM} = T(C + lg\tau), \qquad (1)$$

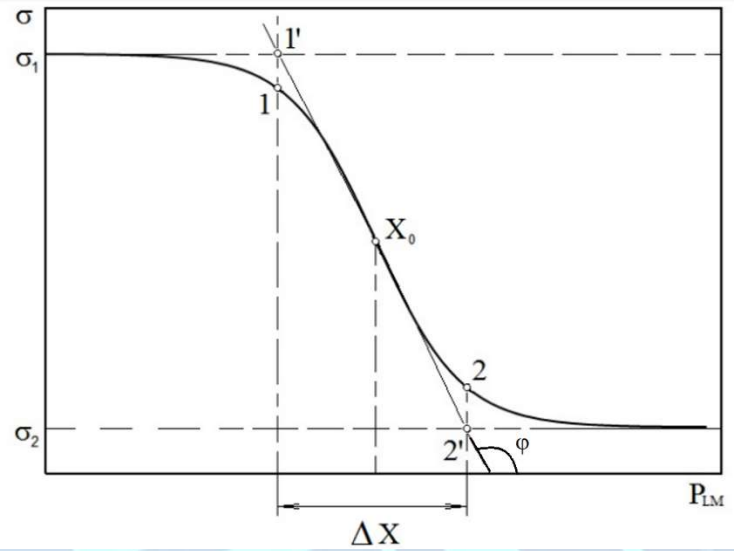
bu yerda

T- izotermik ushlab turishning mutlaq harorati, K;

τ –izotermik ushlab turish vaqti, soat;

C –an’anaviy ravishda mo‘rt buzilish uchun 20 ga teng deb qabul qilingan konstanta.

Natijada, barcha o‘rganilgan INQ kompozitsiyalari uchun uzoq muddatli mustahkamlik chegarasining Larson-Miller parametriga bog‘liqligi olingan. $\sigma=f(P_{LM})$ bog‘liqlikning umumiy ko‘rinishi 1-rasmda keltirilgan. Olingan usul va bog‘liqlikning tabiati haqida [7] da batafsil ma’lumot berilgan.



1-rasm. Issiqbardosh nikel qotishmalarining uzoq muddatli mustahkamlik chegarasining Larson-Miller parametriga bog‘liqligi.

TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI

$\sigma=f(P_{LM})$ bog‘liqlikning o‘zgarish xarakteri barcha o‘rganilgan kompozitsiyalar uchun xosdir. Uzoq muddatli mustahkamlik chegarasining maksimal va minimal qiymatlari mos ravishda σ_1 va σ_2 bilan belgilangan. Egri chiziqda shartli ravishda uchta uchastka ajratilgan bo‘lib, ular struktura buzilishidan oldingi degradatsiyasining turli tezligini ifodalaydi, ularning chegaralari 1 va 2 nuqtalar bilan belgilangan. Bu nuqtalar orasida pasayish tezligi σ maksimal bo‘lgan uchastka joylashgan. Bu uchastkaning o‘rtasini, urinma o‘tkazilgan nuqnani, X_0 bilan belgilaymiz.

ISSN 3030-3907

INQning strukturaviy barqarorligi ma’lum bir harorat-vaqt sharoitida degradatsiya jarayonlarining sodir bo‘lish tezligi bilan tavsiflanadi. Jarayonlar dinamikasi qanchalik sekin, harorat yuqori va vaqt uzoq bo‘lsa, qotishma strukturasi shunchalik barqaror bo‘ladi. 1 va 2 nuqtalar orasidagi $\sigma=f\ (P_{LM})$ bog‘liqlik uchastkasi p strukturaning degradatsiya dinamikasini xarakterlaydi va (2) ifoda bilan hisoblanadi [7]:

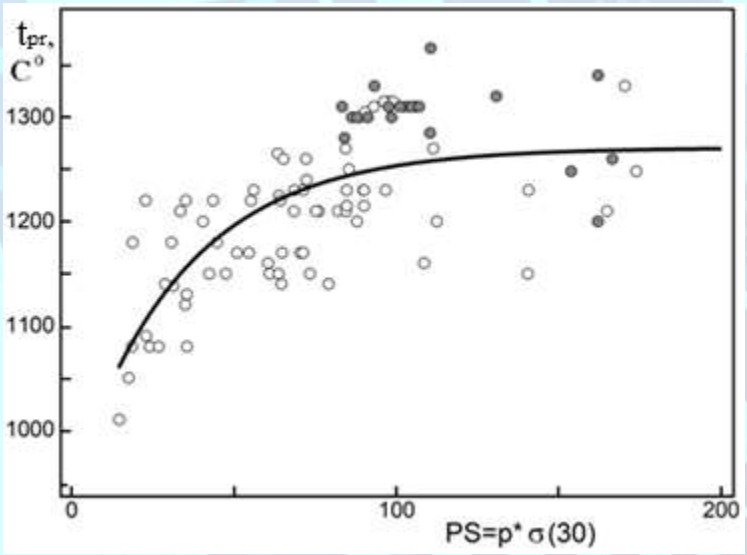
$$p = \frac{\Delta X}{4}. \qquad (2)$$

Issiqbardosh nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligini aniqlash uchun termik-vaqt dinamikasini uzoq muddatli mustahkamlik chegarasi bilan bog‘lash kerak, buning uchun (3) ifoda taklif etilgan:

$$PS = p \cdot \sigma_{1000}^{1000} \equiv p \cdot \sigma(30)\ . \qquad (3)$$

Abssissa o‘qi bo‘yicha 2 nuqtaning koordinatalari aksariyat INQlar uchun PLM=30 yaqinida joylashganligi sababli, ikkinchi ko‘paytuvchi sifatida 1000ºC haroratda 1000 soat davomida izotermik ushlab turishdan so‘ng uzilishga sinash natijasida olingan uzoq muddatli mustahkamlik chegarasining aynan shu qiymati tanlandi.

Issiqbardosh nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligini aniqlashning klassik usuli bilan taqqoslash uchun ma’lumotlar bazasi asosiy mustahkamlovchi γ’-fazaning to‘liq erish harorati t_{pr} qiymatlari bilan to‘ldirildi. Shuni ta’kidlash kerakki, Al-Ni holat diagrammasiga muvofiq [11] γ’ fazaning to‘liq erish harorati 1370ºC dan oshmaydi. 2-rasmda PS ning strukturaviy barqarorlik parametriga bog‘liq holda γ’- fazaning to‘liq erish harorati to‘g‘risidagi ma’lumotlar keltirilgan.



◌ - birinchi avlod qotishmalari, ● - keyingi avlod qotishmalari.

2-rasm. Asosiy mustahkamlovchi γ’-fazaning to‘liq erish haroratining strukturaviy barqarorlik parametri - PS ga bog‘liqligi.

ISSN 3030-3907

Bog‘liqlik monoton emas va egilishga ega. Egilishgacha bo‘lgan qiymatlar asosan tarkibida reniy va/yoki ruteniy kabi legirlovchi elementlar bo‘lmagan issiqqa chidamli nikel qotishmalaridan iborat. Egilishgacha $t_{pr}=f(PS)$ bog‘liqlik ikkala kattalikning proporsional o‘zgarishi bilan xarakterlanadi. Egilish nuqtasidan keyin kimyoviy tarkibida reniy va ruteniy borligi bilan birinchisidan farq qiladigan keyingi avlod qotishmalari joylashgan. Approksimatsiyalovchi funksiya sifatida (4) ko‘rinishdagi asimptotik o‘suvchi eksponenta ishlatilgan:

$$y = A \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{x}{k}\right)\right). \qquad (4)$$

Bunday approksimatsiya kuzatilayotgan bog‘liqlik turi bilan bog‘liq: PS parametrining kichik qiymatlari sohasida t_{pr} qiymatlarining o‘sishi va keyinchalik to‘yinishga o‘tishi. Shuni ta’kidlash kerakki, tarkibida Re va/yoki Ru bo‘lgan qotishmalarga mos keladigan nuqtalar bog‘liqlikning to‘yinish sohasida to‘liq joylashgan.

Ma’lumki [1,6], reniy (0,5...10,0) % qattiq eritmada mustahkamlanishda ishtirok etadi, legirlovchi elementlarning diffuziya koeffitsiyentini sezilarli darajada kamaytiradi, mustahkamlovchi fazalarning yiriklashuvini sekinlashtiradi, soledus haroratini oshiradi, γ′-fazaning γ-qattiq eritmadan hosil bo‘lishida mayda dispers zarrachalarning shakllanishini ta’minlaydi va yuqori haroratlarda uning keyingi erishini sekinlashtiradi. Ruteniy (1,6...6,0) mass.% qattiq qorishmada mustahkamlanishga yordam beradi, tarkibiga kirmaydi va TZJ-fazalar hosil bo‘lishiga to‘sqinlik qiladi. Ushbu elementlarning kiritilishi diffuzion oqimlarni sekinlashtirish orqali mikrostrukturaning yuqori haroratli barqarorligini yaxshilaydi, ammo bunda γ′-fazaning to‘liq erish harorati kam o‘zgaradi.

Keyingi avlod qotishmalariga mos keladigan qiymatlarning bog‘liqlikning to‘yinish sohasida joylashishi fazaning to‘liq erish harorati qiymatidan strukturaviy barqarorlikni raqamli baholash uchun foydalanish mumkin emasligi foydasiga dalil bo‘lib, bu birinchi avlod qotishmalari uchun juda mos keladi.

Approksimatsiyalovchi funksiya ko‘rinishi bitta analitik bog‘liqlik doirasida ikkita trendni modellashtirish imkonini beradi. Birinchidan, kiritilgan *PS* parametriga bog‘liq holda tpr qiymatlarining chiziqli o‘sish uchastkasi. Bu tendensiya faqat birinchi avlod qotishmalari uchun xosdir va (0; 100) *PS* birlik diapazonida ko‘rinadi. Ikkinchidan, gorizontal uchastka - strukturaviy barqarorlikning sonli bahosi sifatida t_{pr} noinformativ bo‘lib qoladigan soha.

XULOSA

Issiqbardosh nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligini baholashning klassik va yangi taklif etilgan usullarini taqqoslash usullarning qisman o‘zaro bog‘liqligini ko‘rsatadi. Ikkala usulni baholashning mos kelishi birinchi avlod

ISSN 3030-3907

qotishmalarida qayd etiladi. INQ kimyoviy tarkibining diffuzion jarayonlarni to‘xtatuvchi elementlar bilan murakkablashishi γ′-fazaning to‘liq erish haroratining sezilarli darajada oshishiga olib kelmaydi, ammo strukturaviy barqarorlikni sezilarli darajada yaxshilaydi, bu *PS* parametri bilan yaxshi aks ettiriladi. Shunday qilib, taklif etilgan yangi usul issiqbardosh nikel qotishmalarining strukturaviy barqarorligini baholashda ko‘proq mos keladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. Сплавы, технология, покрытия. / М.: МИСИС. 2001. 632 с.
2. Гайдук С.В., Кононов В.В., Куренкова В.В. Получение прогнозирующих математических моделей для расчета термодинамических параметров литейных жаропрочных никелевых сплавов // Общие вопросы металлургии. 2015. №4. С.31-36.
3. Тягунов А.Г., Костина Т.К., Лесников В.П., Барышев Е.Е. Влияние высокотемпературной обработки расплава на структуру никелевого жаропрочного сплава ЭП539Л // Литейное производство. 1994. №1. С.13-14.
4. Тягунов А.Г., Костина Т.К., Лесников В.П., Семенова И.П., Барышев Е.Е. Влияние длительных высоко-температурных выдержек при 950°С на структуру и свойства жаропрочного сплава ЖС6У // Физика металлов и металловедение. 1998. т.86. №1, С. 65-69.
5. Тягунов А.Г., Костина Т.К., Семенова И.П., Лесников В.П., Барышев Е.Е. Термостабильность структуры жаропрочного никелевого сплава, приготовленного по двум различным технологиям // Металловедение и термическая обработка металлов. 1999. №12. С.27-30.
6. Кузнецов В.П., Лесников В.П., Попов Н.А. Структура и свойства жаропрочных никелевых сплавов. Издательство Уральского университета. 2016. 164 с.
7. Трубникова А.С., О.Б. Мильдер О.Б., Тарасов Д.А., Ганеев, А.А. Тягунов А.Г. Моделирование изменения предела длительной прочности сплавов на основе никеля с использованием байесовских искусственных нейронных сетей // Письма о материалах. 2020. Т.10. №1. С. 106-111.
8. Тягунов А.Г., Тарасов Д.А., Мильдер О.Б. Моделирование динамики изменения жаропрочности никелевых сплавов методами машинного обучения // Физика металлов и металловедение. 2021. Том 122. №7. С. 754-759.
9. Кадиров О.Х., Шипулин Ю.Г. Оптоэлектронный цифровой измеритель запыленности в цехах джиннирования хлопка / Scientific and Technical Journal «Ural Radio Engineering Journal».- ISSN 2588-0454 Volume 8, № 1, С.110 – 118.https://doi.org/10.15826/urej.2024.8.1.005.

ISSN 3030-3907

10. Larson R.R., Miller J. Time-temperature relationship for rupture creep stress // Trans ASME. 1952. V74. №5. P. 765-775
11. Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов. М.: Металлургиздат. 2002. 1488 с.

ISSN 3030-3907